昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, May 2007, 50(5): 467 - 473　　ISSN 0454-6296

毒死蜱和阿维菌素对塔六点蓟马功能反应的影响

李定旭[1],田　娟[1],沈佐锐[2]

(1. 河南科技大学林学院,河南洛阳　471003;2. 中国农业大学昆虫学系,北京　100094)

摘要:室内采用叶碟饲养的方法,以山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* Zacher 卵为猎物研究了苹果园常用药剂毒死蜱和阿维菌素对塔六点蓟马 *Scolothrips takahashii* Prisener 功能反应的影响。结果表明:毒死蜱和阿维菌素对塔六点蓟马的功能反应均有明显的影响。在推荐剂量下阿维菌素可显著降低雌雄两性蓟马的瞬时攻击率,处置时间则分别比对照增加 213.36%和 19.74%,且雌性的功能反应由 Holling-Ⅱ型改变为 Holling-Ⅲ型;在半推荐剂量下两性蓟马的瞬时攻击率与对照差异不明显,而雌性蓟马的处置时间则比对照增加 133.72%。毒死蜱处理则不影响塔六点蓟马的功能反应类型,在推荐剂量和半推荐剂量下均可使雌雄两性蓟马的瞬时攻击率显著降低,雌性蓟马的处置时间比对照分别增加 85.62%和 71.97%,而雄性蓟马在两个剂量下则分别增加 55.92%和 38.20%,与对照的差异均达显著水平。

关键词:塔六点蓟马;山楂叶螨;功能反应;阿维菌素;毒死蜱

中图分类号:Q965.9　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:0454-6296(2007)05-0467-07

Influence of chlorpyrifos and abamectin on the functional response of *Scolothrips takahashii* Prisener to hawthorn spider mite *Tetranychus viennensis* Zacher

LI Ding-Xu[1], TIAN Juan[1], SHEN Zuo-Rui[2] (1. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China; 2. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Leaf disc bioassay was employed in the laboratory to investigate the effects of selected pesticides, including abamectin and chlorpyrifos, on the functional response of an acarophagous thrips, *Scolothrips takahashii* Prisener to a damaging spider mite, *Tetranychus viennensis* Zacher eggs under the conditions of 25℃ ± 1℃, RH 60% ± 10%, and a photoperiod of 16L:8D. Two doses, viz. the labeled dose and half of the labeled dose, of the selected pesticides were tested. Logistic regression was used to determine the type of functional response and to compare predation performance at various prey densities; parameters of random predator equation for both exposed and unexposed predators were estimated and then compared with an equation with indicator variables. The results showed that the two insecticides exerted profound influence on the functional response of the acarophagous thrips. Exposed to labeled dose of abamectin, both males and females thrips exhibited significant lower attack rates, markedly extended handling time was also recorded, and functional response for females in the labeled dose exposure was confirmed to be Holling-Ⅲ type, rather than Holling-Ⅱ type in the control. An exposure of half labeled dose of abamectin had no obvious influence on the attack rates of both sexes of the predator, but handling time in females prolonged significantly. Exposures of the two doses of chloryprifos resulted in attack rates reduced notably in both male and female thrips, with the handling time extended by 85.62% and 71.97% in the female and 55.92% and 38.20% in the male respectively, and functional responses for both males and females were proved to be Holling-Ⅱ type, same as those in the control.

Key words: *Scolothrips takahashii*; *Tetranychus viennensis*; functional response; abamectin; chlorpyrifos

---

基金项目:国家'十五'攻关资助项目(2001BA50PB01);河南省自然科学基金项目(200510464017)

作者简介:李定旭,男,1965 年生,河南灵宝人,博士,教授,主要从事害虫综合治理及昆虫生态学教学与研究,E-mail:lldingxu@sohu.com

收稿日期 Received:2006-10-11;接受日期 Accepted:2007-01-11

山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* Zacher 是危害落叶果树的主要害虫之一(刘芹轩和王连全,1965;Gotoh,1986;李大乱等,1998),不仅发生面积大,而且危害严重,是我国北方各地果园常年防治的主要对象。目前,各地果园对螨类的防治主要依赖化学药剂,由于螨类害虫世代周期短、生殖力强,加之果园用药频率高,使得其对各种化学药剂的抗药性产生和发展速度都较快(李大乱等,1998;刘金香等,2004),已成为果园害虫防治中的重要问题。同时,出于对食品安全的考虑以及对环境保护的担心,人们迫切需要寻求一种能够替代化学防治的措施,因此,对生物防治的研究越来越受到重视(MacHardy,2000;Gotoh *et al*.,2004a,2004b)。

塔六点蓟马 *Scolothrips takahashii* Prisener 是东亚地区主要的捕食性蓟马种类之一(韩运发,1982;高宗仁等,1989)。近年来的一些研究结果表明该蓟马可捕食多种作物如果树、棉花等上的螨类害虫,是一种非常有潜力的害螨自然控制因子(Gilstrap,1995;Kishmoto,2003;Gotoh *et al*.,2004b)。在我国河南各地苹果园中,塔六点蓟马不仅发生早、而且种群数量较大(6–8 月间),是控制山楂叶螨等害螨的重要天敌种类。Gotoh 等(2004a)研究了其幼虫对二斑叶螨 *T. urticae* Koch 卵的捕食量、成虫对螨卵的功能反应及温度对塔六点蓟马种群增长的影响;Mori 和 Gotoh (2001)测定了 15 种药剂(包括杀虫剂、杀螨剂、昆虫生长调节剂)对塔六点蓟马 2 龄幼虫的毒力。Kishmoto (2003) 研究了不同叶螨种类(*Panonychus mori*,*T. urticae*,*T. viennensis*)对塔六点蓟马生长发育及生殖的影响;高宗仁等(1989)曾报道了塔六点蓟马成虫对棉田朱砂叶螨 *T. cinnabarinus* (Boisduval) 卵的功能反应;李定旭等(2006)报道了塔六点蓟马对山楂叶螨的功能反应。这些研究为塔六点蓟马在苹果园害螨防治中的应用提供了必要的基础,但由于在我国各地果园病虫害防治体系中,各种药剂的使用非常普遍,这必然会对果园生态系统中多种生态关系都造成不同程度的影响。深入研究不同药剂对塔六点蓟马功能反应的影响,不仅有助于对天敌的合理应用,而且有助于化学防治与生物防治的协调与配合,进而提高果园有害生物综合治理的科学性。

1 材料与方法

1.1 供试药剂

48%乐斯本乳油(有效成分毒死蜱 chlorpyrifos,美国陶氏益农化学公司),1.8%阿维菌素乳油(有效成分阿维菌素 abamectin,四川成都惠普生物工程有限公司)。

1.2 供试昆虫

山楂叶螨采自河南洛阳市郊区孙旗屯乡土桥沟村苹果园,在室内离体金冠苹果叶片上饲养至少 4 代之后备用;塔六点蓟马亦采自同一果园,在室内饲以山楂叶螨,试验之前在室内饲养至少经过 1 个世代。饲养条件均为温度 25℃ ± 1℃,相对湿度 60% ± 10%,光周期 16L∶8D。

1.3 试验方法

所有试验均在 RSH-250 Ⅱ 型人工气候箱(广州医疗器械厂)中进行。山楂叶螨在直径 180 mm 的培养皿中饲养,先在培养皿底部倒入 15 g/L 的琼脂培养基,待其凝固后放入新鲜的苹果叶片(背面朝上),接入山楂叶螨连续饲养;培养皿盖用 5 mm 厚的橡胶块垫起以利空气流通,苹果叶片和琼脂培养基定期更换。待室内山楂叶螨种群数量合适时,开始饲养塔六点蓟马。选择叶螨数量适中的苹果叶片移入直径 150 mm 培养皿(亦加入琼脂培养基),同时接入塔六点蓟马;饲养期间每隔 2 天将蓟马成虫转移至另外的有螨叶片以分离成虫和卵,并将卵单独饲养。功能反应试验均在 DZ-8003 型多功能养虫盒(西安狄寨植保仪器厂,90 mm × 90 mm × 45 mm,体积为 245 cm^3)中进行,先在养虫盒底部放入直径 25 mm 高 5 mm 的琼脂一块,并在养虫盒底部注入适量清水(水面与琼脂面平齐);再将直径 25 mm 的苹果叶碟置于琼脂块上,接入试虫后,将养虫盒放入人工气候箱中培养。

蓟马成虫对山楂叶螨卵的功能反应:在苹果叶碟(直径 25 mm)背面接入处于产卵盛期的山楂叶螨雌虫 10 ~ 30 头,24 h 后移去雌螨,并在解剖镜下调整每个叶碟的卵量至所需数量(20 ~ 70 粒,6 个密度梯度)后备用。各供试药剂均用蒸馏水稀释至所需浓度。每种药剂均设 2 个浓度:推荐剂量和推荐剂量的一半;对照只喷蒸馏水。各种药剂均采用 Natascha 等(2001)提出的喷雾箱法喷洒于供试叶碟(带卵)表面,雾滴沉降量采用 Philippe 等(2003)的方法标定:即取 30 个直径 25 mm 的聚丙烯薄片,先在电子天平(精度为 0.1 mg)上称重,喷雾后立即再次称重;重复 5 次,计算雾滴沉降量,得到的雾滴沉降量为 1.6914 ± 0.1170 mg/cm^2。叶碟喷雾后在室温下晾置 1 h,然后接入蓟马成虫(雌或雄)1 头,24 h 后移去蓟马,并检查剩余的卵量。蓟马成虫(4 ~ 7 日

龄)在试验前均经过 12 h 饥饿；试验结束时如发生蓟马死亡现象则弃去该数据。每处理重复不少于 15 次。

1.4　数据分析方法

所有的数据均采用 SAS V8.2 统计软件进行分析。对于所有功能反应的原始数据首先采用 Juliano(2001)提出的 Logistic 回归法确定功能反应曲线的类型，即以猎物被捕食的比例与猎物的初始密度进行回归分析：

$$N_a/N_0 = \exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)/[1 - \exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)] \quad (1)$$

其中，N_a 为被捕食的猎物数量，N_0 为猎物的初始密度，P_0、P_1、P_2 和 P_3 为参数，参数估计采用最大似然估计。判定功能反应曲线类型的标准：$P_1 = 0$，为Ⅰ型功能反应；$P_1 < 0$，为Ⅱ型功能反应；$P_1 > 0$，则为Ⅲ型功能反应。功能反应的类型确定后再拟合功能反应方程。对由于本研究中没有及时地补充猎物(猎物密度随时间推移而减小)，对Ⅱ型、Ⅲ型功能反应均采用随即捕食模型(Roger，1972；Hassell *et al*.，1977)：

$$N_a = N_0\{1 - \exp[a(T_hN_a - T)]\} \quad (2)$$

$$N_a = N_0\{1 - \exp[(d + bN_0)(T_hN_a - T)/(1 + cN_0)]\} \quad (3)$$

来拟合试验数据，参数估计采用 SAS 软件中 PROC NLIN 程序；如某一参数的估计值与 0 无显著差异，则从模型中剔除该参数重新进行估计。

各药剂处理对塔六点蓟马功能反应的影响可以通过其功能反应参数与对照中的参数相比较来说明，采用 Juliano(2001)提出的方法，利用公式(4)将各个药剂处理分别与对照进行比较：

$$N_a = N_0 - N_0\exp\{[a + D_a(j)] \times \{[T_h + D_{Th}(j)](N_a) - T\}\} \quad (4)$$

式中 j 为指示变量，$j = 0$ 表示对照，$j = 1$ 表示药剂处理；参数 D_a 和 D_{Th} 分别表示药剂处理与对照中蓟马对猎物的瞬时攻击效率和处置时间之间的差异，如 D_a 和 D_{Th} 与 0 之间的差异不显著(即其 95% 置信区间包括 0)，则 a 与 $a + D_a$ 及 T_h 与 $T_h + D_{Th}$ 的差异不显著，也就是药剂处理和对照组中塔六点蓟马的攻击效率与处置时间无显著差异。如药剂处理中蓟马的功能反应与对照中的功能反应类型不同，则他们之间的参数比较则难以进行，因所对比参数的含义不同，故按照 Li 等(2006)提出的方法，先将对照的功能反应按照 Holling-Ⅲ 型拟合，然后再进行比较。蓟马的死亡率则根据每种药剂的每个猎物密度下供试蓟马数量与死亡数量来计算，并用 Abbott 公式校正，各处理中蓟马的死亡率(经反正弦转换)的差异采用方差分析及 Fisher's 检验。

2　结果与分析

2.1　塔六点蓟马的死亡率分析

表 1 是塔六点蓟马在各药剂处理中的死亡率。为了明确蓟马的死亡率与猎物密度之间是否存在着交互效应，即蓟马的死亡率是否会因猎物密度不同而导致在同一药剂剂量处理中而有明显变异，首先对不同药剂、不同猎物密度处理中蓟马的死亡率进行分析。方差分析结果表明雌雄两性蓟马的死亡率与猎物密度之间不存在交互效应［药剂效应：$F = 11.57$，$P < 0.0001$（雌性）；$F = 2.224$，$P = 0.0043$（雄性）；猎物密度与药剂的交互效应：$F = 1.63$，$P = 0.1624$（雌性）；$F = 1.268$，$P = 0.3423$（雄性）］，即各种药剂对塔六点蓟马的毒力主要是因蓟马在叶面接触药剂引起的，而在不同猎物密度下因蓟马取食量差异引起的死亡率差异不显著。因此，在进行各种药剂对蓟马的致死作用分析时将各个猎物密度下的死亡率合并进行。结果表明，不同药剂对塔六点蓟马的致死作用有显著差异，其中毒死蜱的毒性显著大于阿维菌素；两种药剂的推荐剂量下的蓟马死亡率均显著高于其半推荐剂量。

表 1　塔六点蓟马在不同药剂处理后的叶面上的死亡率(平均值 ± 标准误)

Table 1　Mortality (mean ± *SE*) of *Scolothrips takahashii* in various pesticide exposures by eating sprayed eggs and walking on sprayed leaf surface

剂量 Dose	性别 Sex	阿维菌素 Abamectin	毒死蜱 Chloryprifos	对照 CK
推荐剂量	雌性 Females	28.35 ± 2.67 (144) b A	57.92 ± 4.59 (196) a A	0 (96)
Labeled dose	雄性 Males	26.35 ± 3.22 (136) b A	55.20 ± 3.88 (187) a A	0 (94)
半推荐剂量	雌性 Females	16.69 ± 2.02 (128) b B	26.16 ± 2.98 (148) a B	
Half labeled dose	雄性 Males	11.32 ± 1.92 (126) b B	24.22 ± 2.11 (132) a B	

同一行数据后有相同小写字母、同一列数据后有相同大写字母均表示差异不显著($P > 0.05$)；表中括号中数据为供试塔六点蓟马数量。Data followed by the same lowercase letter within rows and the same capital letter within columns are not significantly different ($P > 0.05$). Numbers in parentheses are the number of thrips tested.

2.2 各处理中塔六点蓟马对山楂叶螨功能反应类型的确定

利用 Logistic 模型对试验数据进行回归分析，结果见表 2。在没有接触药剂的情况下，塔六点蓟马雌雄虫对山楂叶螨卵的功能反应均为 Holling-Ⅱ型，因 P_1 显著小于 0；在接触了阿维菌素之后，雌性蓟马在推荐剂量下对螨卵的功能反应变为 Holling-Ⅲ型，因 P_1 显著大于 0，而雄性则未改变；在半推荐剂量下，雌雄蓟马的功能反应类型均未改变；在接触了毒死蜱之后，雌雄蓟马的功能反应类型均未改变。

表 2 塔六点蓟马成虫对山楂叶螨卵的捕食率与初始密度的 Logistic 回归结果

Table 2 Results of logistic regression analyses, indicating estimates and standard errors of linear, quadratic and cubic coefficients for the proportion of prey eaten by *Scolothrips takahashii*

处理 Treatments	参数 Parameters	雄性 Males Estimates (mean ± *SE*)	χ^2	*P*	雌性 Females Estimates (mean ± *SE*)	χ^2	*P*
对照 CK	P_0	2.6656 ± 0.6792	15.40	< 0.0001	9.0104 ± 1.0302	76.49	< 0.0001
	P_1	– 0.2778 ± 0.0596	7.17	0.0192	– 0.614 ± 0.0848	52.44	< 0.0001
	P_2	0.00399 ± 0.00162	3.63	0.0435	0.0156 ± 0.0022	50.16	< 0.0001
	P_3	0.0000085 ± 0.000014	0.00	0.9506	– 0.00013 ± 0.000018	51.81	< 0.0001
阿维菌素[1] Abamectin[1]	P_0	2.9100 ± 1.0273	10.78	0.0375	– 4.3449 ± 0.1667	8.39	0.0167
	P_1	– 0.2484 ± 0.0779	6.39	0.0434	0.2648 ± 0.0874	6.55	0.0428
	P_2	0.00022 ± 0.00181	0.01	0.9032	– 0.00243 ± 0.00202	1.45	0.2293
	P_3	0.0000006 ± 0.000013	0.00	0.9621	0.00002 ± 0.000015	1.95	0.1625
阿维菌素[2] Abamectin[2]	P_0	2.3080 ± 1.1123	4.31	0.0380	5.8947 ± 1.6338	13.02	0.0003
	P_1	– 0.4159 ± 0.0805	4.73	0.0188	– 0.2450 ± 0.1138	4.63	0.0313
	P_2	0.00109 ± 0.00182	0.36	0.5486	0.00317 ± 0.00250	1.62	0.2034
	P_3	– 0.0000034 ± 0.000013	0.07	0.7894	– 0.00001 ± 0.000017	0.72	0.3973
毒死蜱[1] Chlorpyrifos[1]	P_0	3.4988 ± 1.0892	4.28	0.0168	5.6418 ± 1.2447	21.64	< 0.0001
	P_1	– 0.4359 ± 0.0825	3.09	0.0066	– 0.3612 ± 0.0846	12.69	0.0005
	P_2	– 0.00069 ± 0.00192	0.73	0.7208	0.00761 ± 0.00242	9.88	0.0016
	P_3	0.000010 ± 0.000014	0.55	0.4683	– 0.00006 ± 0.000025	9.69	0.0022
毒死蜱[2] Chlorpyrifos[2]	P_0	4.9165 ± 1.0066	15.66	< 0.0001	7.4481 ± 1.3129	33.96	< 0.0001
	P_1	– 0.3673 ± 0.0842	11.88	0.0008	– 0.4804 ± 0.0772	28.33	< 0.0001
	P_2	0.00763 ± 0.0022	9.14	0.0031	0.0144 ± 0.00212	28.55	< 0.0001
	P_3	– 0.00005 ± 0.000014	8.42	0.0044	– 0.00008 ± 0.000014	26.44	< 0.0001

1：推荐剂量 The labeled dose；2：半推荐剂量 Half of the labeled dose. 下同 The same below.

2.3 药剂对塔六点蓟马功能反应参数的影响

不同药剂处理后塔六点蓟马对山楂叶螨卵功能反应的参数估计结果见表 3。结果表明，塔六点蓟马对山楂叶螨卵的捕食行为均有所改变，但不同药剂的影响有明显差异，同种药剂不同剂量的影响也有所差异。

毒死蜱处理后，塔六点蓟马雌、雄成虫对山楂叶螨卵的瞬时攻击率（a）明显变小，且与对照相比差异达到显著水平，因 D_a 的 95% 置信区间不包含 0；同时瞬时攻击效率减小的幅度随毒死蜱剂量的增加而减小。而阿维菌素处理后，雌雄蓟马的 a 值在半推荐剂量下都有所减小，但与对照相比差异不显著，因其 D_a 的 95% 置信区间包括有 0；而在推荐剂量下，雄性蓟马的 a 值与对照相比显著降低，雌性蓟马的瞬时攻击率与猎物的初始密度呈正相关（斜率为 0.00846 ± 0.00148），随着猎物初始密度的加大，药剂的影响则减弱，功能反应的类型也由 Holling-Ⅱ转变为 Holling-Ⅲ型。由于在推荐剂量阿维菌素处理中雌性蓟马的功能反应为 Holling-Ⅲ型，而对照中蓟马的功能反应为 Holling-Ⅱ型，使得他们之间的参数比较无法进行。为此，先将对照的功能反应按照 Holling-Ⅲ型拟合，然后再进行比较。结果表明，在阿维菌素推荐剂量处理中雌性蓟马对猎物的处置时间显著长于对照。

与对照相比，所有的药剂处理均可使塔六点蓟马对山楂叶螨卵的处置时间增加。在阿维菌素的推荐剂量处理中，雌性蓟马的处置时间比对照增加 213.36%，雄性则增加 19.74%，两者 D_{Th} 值的 95% 置信区间均不包含 0，与对照的差异达显著水平；而

在半推荐剂量处理中，雌性蓟马的处置时间比对照增加 133.72%，且差异显著，而雄性的处置时间比对照增加 6.43%，但差异不显著。在推荐剂量和半推荐剂量的毒死蜱处理中，塔六点蓟马的处置时间均显著增加，其中雌性的处置时间比对照分别增加 85.62%和 71.97%，而雄性的处置时间则分别在两个剂量下增加 55.92%和 38.20%，差异均达显著水平。

表 3　塔六点蓟马对山楂叶螨功能反应参数的非线性拟合结果

Table 3　Mean（± *SE*）estimates of the attack constant［a（cm^2/h）］and handling time［T_h（h）］for *Scolothrips takahashii* adults attacking *Tetranychus viennensis* eggs exposed to selected pesticides

处理 Treatments	性别 Sex	瞬时攻击效率 a（mean ± SE）	处置时间 T_h（mean ± SE）	与对照的差异及其置信区间 D_a（95% CI）	D_{Th}（95% CI）
对照 CK	♂	0.2140 ± 0.0461	1.0340 ± 0.0455		
	♀	0.1142 ± 0.0101	0.4013 ± 0.0623		
阿维菌素[1]	♂	0.0627 ± 0.0210	1.2381 ± 0.1516	–0.1488（–0.2505 ~ –0.0471）	0.1980（0.0045 ~ 0.5005）
Abamectin[1]	♀	0.00846 ± 0.00148 *	1.2575 ± 0.3532	0.0026（–0.0045 ~ 0.0035）**	0.6749（0.4845 ~ 0.8653）**
阿维菌素[2]	♂	0.1984 ± 0.1250	1.1005 ± 0.1111	–0.0281（–0.0184 ~ 0.0321）	0.0891（–0.1347 ~ 0.3130）
Abamectin[2]	♀	0.0964 ± 0.0330	0.9379 ± 0.0772	–0.0141（–0.0038 ~ 0.0277）	0.4962（0.2983 ~ 0.6941）
毒死蜱[1]	♂	0.0727 ± 0.0244	1.6122 ± 0.1022	–0.1463（–0.2661 ~ –0.0288）	0.5944（0.0952 ~ 1.0674）
Chlorpyrifos[1]	♀	0.0394 ± 0.0201	0.7449 ± 0.1203	–0.0962（–0.0044 ~ –0.1022）	0.3166（0.1434 ~ 0.5633）
毒死蜱[2]	♂	0.0684 ± 0.0232	1.2962 ± 0.0754	–0.1391（–0.2452 ~ –0.0345）	0.1386（0.0842 ~ 0.1438）
Chlorpyrifos[2]	♀	0.0636 ± 0.0104	0.6894 ± 0.0692	–0.0422（–0.0021 ~ –0.0551）	0.2765（0.0033 ~ 0.3021）

*：该处理蓟马的功能反应为 Holling-Ⅲ型，所示参数为 $a = bN$ 中的 b；**：这些参数的估计是将对照按照 Holling-Ⅲ型反应拟合后与药剂处理相比较而得出；在 D_a 和 D_{Th} 列中，95%置信区间包含 0 则表明该处理与对照之间的差异不显著。

*：In the best-fit of the type Ⅲ model, attack rate（a）increased linearly with prey density（$a = bN$）, and the data presented is b. **：These data derived from the comparisons between insecticide exposure treatments and the control, which was fitted as a Type-Ⅲ model. In D_a and D_{Th} columns, 95% CI including 0 indicated the parameter was not significantly different from CK.

图 1 表明：与对照相比，经过毒死蜱处理后塔六点蓟马功能反应的曲线形式没有发生明显改变，仍为负加速曲线；而经过阿维菌素处理后，其功能反应曲线的形式在推荐使用剂量中变为明显的“S”，而在半推荐使用剂量中曲线形式则没有改变。从理论最大捕食量（$1/T_h$）来看，在药剂处理之前，雌、雄蓟马的日最大捕食量分别为 59.81 粒和 23.21 粒，阿维菌素处理后可使其分别减少 57.21% ~ 68.09%和 6.04% ~ 16.48%，毒死蜱处理后则使其分别减少 41.79% ~ 46.17%和 20.23% ~ 35.86%。因此，药剂对雌性塔六点蓟马捕食作用的影响大于雄性，且阿维菌素的影响大于毒死蜱。

3　讨论

功能反应是评价天敌对猎物控制潜能、了解捕食者与猎物种群之间相互关系的重要基础，而药剂对功能反应的影响则在一定程度上反映了人类生产管理措施对生态系统中这一基本生态过程的干扰。本研究采用喷雾处理猎物然后接入蓟马的方法研究药剂对蓟马功能反应的影响，蓟马在捕食猎物的过程中，不仅可以通过捕食着药猎物而获得药剂，通过在叶片上的搜寻行为也可以直接接触药剂，这与田间的实际情况是接近的。

在不同的环境条件下，捕食者的功能反应类型可发生明显改变（Mohaghegh *et al.*，2001）。本研究结果表明，经过药剂处理后，塔六点蓟马对山楂叶螨卵的瞬时攻击率、处置时间都受到不同程度的影响，进而导致其功能反应减弱，甚至功能反应的类型也发生改变。在所进行的 4 个药剂处理中，蓟马对山楂叶螨卵的瞬时攻击率、处置时间的变化说明，药剂对处置时间的影响大于瞬时攻击率，对雌性的影响大于雄性；瞬时攻击率的降低和处置时间的延长导致了功能反应曲线类型的变化。由于供试山楂叶螨的虫态是不活动的，故瞬时攻击率只取决于蓟马的活动性，药后蓟马瞬时攻击率的变化及处置时间的延长显然与蓟马取食有毒猎物及直接接触药剂后的中毒与否及由此导致的活动性减弱有关。

阿维菌素和毒死蜱是目前各地果园中普遍应用的 2 种杀虫剂，在以往的许多研究中都认为阿维菌素对多种天敌是安全的（Bueno and Freitas，2004），这些研究多是基于对其致死率的观察得出的，但对天敌受药后的行为缺乏进一步的考察；也有人曾怀疑阿维菌素的安全性（Ibrahim and Yee，2000）。本研究

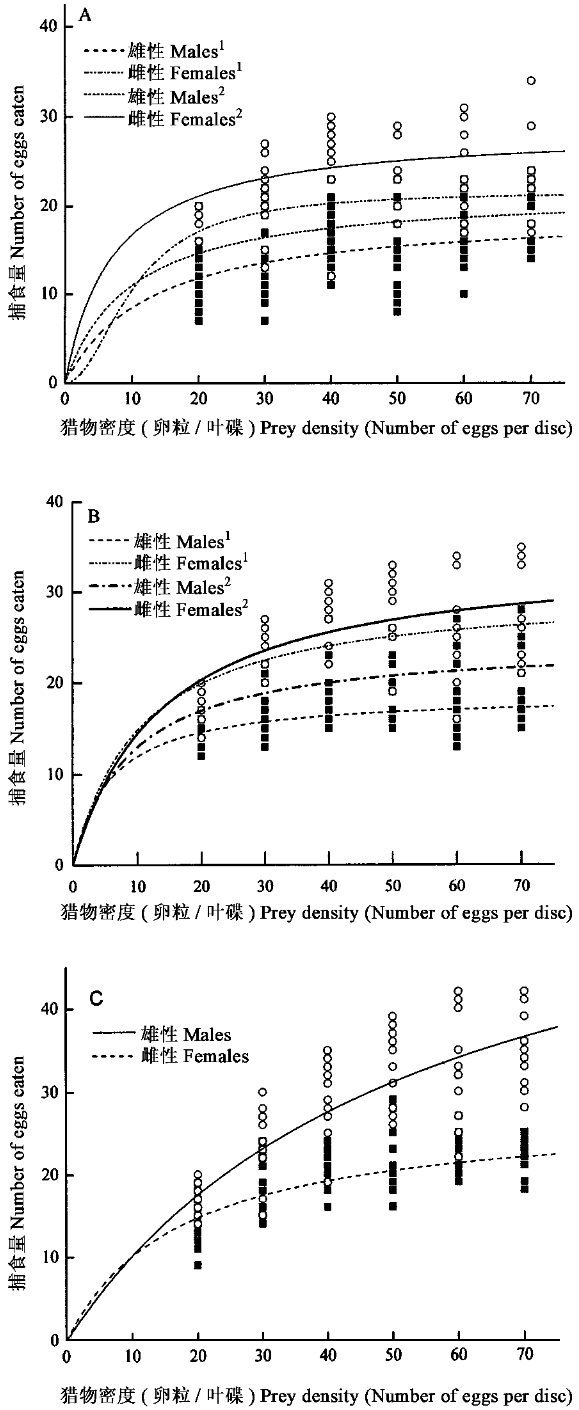

图 1 不同药剂对塔六点蓟马功能反应的影响

Fig. 1 Effects of selected pesticides on functional response of *Scolothrips takahashii* to hawthorn spider mite eggs

A：阿维菌素 Abamectin；B：毒死蜱 Chlorpyrifos；C：对照 Control.

结果表明，阿维菌素和毒死蜱可使塔六点蓟马对螨卵的瞬时攻击率显著降低，处置时间显著延长，进而使其对螨类的控制效果明显降低，这种现象在以往的研究中已有报道（王小艺和沈佐锐，2002；Claver *et al*.，2003；Li *et al*.，2006）。而在推荐剂量的阿维菌素处理中雌性蓟马的功能反应为 Holling-Ⅲ型，表明在猎物密度较低时，塔六点蓟马对山楂叶螨卵的攻击效率很低，而显著增加的处置时间则更加减弱了其捕食能力。这与古德就（1991）对菜少脉蚜茧蜂 *Diaeretiella rapae* 的研究结果类似；Perera（1982）也发现，寄生于温室白粉虱 *Trialeurodes vaporarium* Westwood 的丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan 在接触了拟除虫菊酯后，其功能反应由 Holling-Ⅱ型转变为 Holling-Ⅲ型。在 Juliano（2001）提出的对不同条件下功能反应参数的比较方法中，如所比较的功能反应类型不同，则比较就无法进行。本研究中，在比较阿维菌素对塔六点蓟马的影响时，就遇到了这种情况，并尝试将 Holling-Ⅱ型功能反应按 Holling-Ⅲ型反应进行拟合，从而实现对不同类型功能反应的比较。显然，这种做法对以后类似的研究都有较好的借鉴作用。两种杀虫剂对塔六点蓟马影响程度的差异可能与其相对毒力有关。阿维菌素对塔六点蓟马的急性毒性虽低于毒死蜱，但对蓟马的搜索行为影响较大，猎物密度较低（如药后）时其对螨类的控制作用也大幅降低；而毒死蜱不仅可以大量杀死塔六点蓟马，而且也使残存蓟马的捕食能力大幅降低。因此，在山楂叶螨的防治实践中，这些药剂应尽可能少用或者不用，以充分发挥田间天敌的自然控制作用。

参 考 文 献（References）

Bueno AF，Freitas S，2004. Effect of the insecticides abamectin and lufenuron on eggs and larvae of *Chrysoperla externa* under laboratory conditions. *BioControl*，49（3）：277 – 283.

Claver MA，Ravichandran B，Khan MM，Ambrose DP，2003. Impact of cypermethrin on the functional response，predatory and mating behaviour of a non-target potential biological control agent：*Acanthaspis pedestris*（Stål）（Het.，Reduviidae）. *J. Appl. Entomol.*，127（1）：18 – 22.

Gao ZR，Qiu F，Li QS，1989. Biology and predation effects of *Scolothrips takahashii* Prisener in cotton field. *Entomological Knowledge*，26（6）：332 – 333.［高宗仁，邱峰，李巧丝，1989. 棉田塔六点蓟马的生物学及捕食功能研究. 昆虫知识，26（6）：332 – 333］

Gilstrap FE，1995. Six-spotted thrips：a gift from nature that controls spider mites. In：Parker BL，Skinner M，Lewis T eds. Thrips Biology and Management. New York：Plenum Press. 305 – 316.

Gotoh T，1986. Life-history parameters of the hawthorn spider mite，*Tetranychus viennensis* Zacher（Acarina：Tetranychidae），on deciduous oak. *Appl. Entomol. Zool.*，21（2）：389 – 393.

Gotoh T，Nozawa M，Yamauchi K，2004a. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Appl. Entomol. Zool.*，39（1）：97 – 105.

Gotoh T，Yamaguchi K，Fukazawa M，Mori K，2004b. Effect of temperature on life history traits of the predatory thrips，*Scolothrips takahashii*

Prisener (Thysanoptera：Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 39 (3)：511 – 519.

Gu DJ，1991. Influence of sublethal dose of insecticides on the foraging behavior of *Diaeretirlla rapae*. *Acta Ecol. Sin.*, 11 (4)：324 – 329. [**古德就**，1991. **农药亚致死剂量对菜蚜茧蜂搜索行为影响的研究**. **生态学报**，11(4)：324 – 329]

Han YF，1982. Two new species in genus of *Scolothrips* and recognition of males in *Scolothrips takahashii* Prisener. *Anim. Res.*, 3：53 – 56. [**韩运发**，1982. *Scolothrips* **属二新种及塔六点蓟马雄虫记述**. **动物学研究**，3：55 – 56]

Hassell MP，Lawton JH，Beddington JR，1977. Sigmoid functional responses by invertebrate predators and parasitoids. *J. Anim. Ecol.*, 46(1)：249 – 262.

Ibrahim YB，Yee TS，2000. Influence of sublethal exposure to abamectin on the biological performance of *Neoseiulus longispinasus* (Acari：Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.*, 93(4)：1 085 – 1 089.

Juliano SA，2001. Nonlinear curve fitting：predation and functional response curves. In：Scheiner SM，Gurevitch J eds. Design and Analysis of Ecological Experiments. Oxford University Press. 178 – 196.

Kishmoto H，2003. Development and oviposition of predacious insects，*Stethorus japonicus* (Coleoptera：Coccinellidae)，*Oligota kashmirica benefica* (Coleoptera：Staphylinidae)，and *Scolothrips takahashii* (Thysanoptera：Thripidae) reared on different spider mite species (Acari：Tetranychidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 38 (1)：15 – 21.

Li DL，Zhang CT，Xu GL，1998. A study on the population dynamics and damage of red spider mite. *Forest Research*，11(3)：335 – 338. [**李大乱，张翠**曈，**徐国良**，1998. **山楂叶螨种群动态及其危害研究**. **林业科学研究**，11(3)：335 – 338]

Li DX，Tian J，Shen ZR，2006. Functional response of predatory thrips，*Scolothrips takahashii* Prisener to hawthorn spider mite，*Tetranychus viennensis* Zacher. *Acta Ecol. Sin.*, 26(5)：1 414 – 1 421. [**李定旭，田娟，沈佐锐**，2006. **塔六点蓟马对山楂叶螨的功能反应研究**. **生态学报**，26(5)：1 414 – 1 421]

Li DX，Tian J，Shen ZR，2006. Effects of pesticides on the functional response of predatory thrips，*Scolothrips takahashii* to *Tetranychus viennensis*. *J. Appl. Entomol.*, 130(5)：314 – 322.

Liu JX，Hu MY，Han JC，Liu HP，Zhong GH，2004. Resistance of *Tetranychus viennensis* Zacher to acaricides and synergistic effect of pesticide combination. *Acta Phytophyl. Sin.*, 31(2)：199 – 205. [**刘金香，胡美英，韩巨才，刘慧平，钟国华**，2004. **山楂叶螨抗药性及混配增效作用**. **植物保护学报**，31(2)：199 – 205]

Liu QX，Wang LQ，1965. Studies on the biology of hawthorn spider mite. *Entomological Knowledge*，9 (5)：283 – 285. [**刘芹轩，王连全**，1965. **山楂叶螨生物学研究**. **昆虫知识**，9(5)：283 – 285]

MacHardy WE，2000. Current status of IPM in apple orchards. *Crop Prot.*，19(8 – 10)：801 – 806.

Mohaghegh J，de Clercq P，Tirry L，2001. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het.，Pentatomidae) to the beet armyworm，*Spodoptera exigua* (Hübner) (Lep.，Noctuidae)：effect of temperature. *J. Appl. Entomol.*，125(3)：131 – 134.

Mori K，Gotoh T，2001. Effects of pesticides on the spider mite predators，*Scolothrips takahashii* (Thysanoptera：Thripidae) and *Stethorus japonicus* (Coleoptera：Coccinellidae). *Internat. J. Acarol.*，27(4)：299 – 302.

Natascha S，Claus PWZ，Wolfgang K，Graham DM，Ralf N，2001. Resistance to organophosphates and biochemical genotyping of acetylcholinesterases in *Tetranychus urticae*. *Pestic. Biochem. Physiol.*，69(2)：131 – 142.

Perera PACR，1982. Some effects of insecticide deposit patterns on the parasitism of *Trialeurodes vaporariorum* by *Encarsia formosa*. *Ann. Appl. Biol.*，101(2)：239 – 244.

Philippe A，Sabine G，Kreiter S，2003. Variation in acaricidal effect of wettable sulfur on *Tetranychus urticae* (Acari：Tetranychidae)：effect of temperature，humidity and life stage. *Pest Manag. Sci.*，59(5)：559 – 565.

Rogers D，1972. Random search and insect population models. *J. Anim. Ecol.*，41(2)：369 – 383.

Wang XY，Shen ZR，2002. Effects of sublethal doses of insecticides on predation of multicolored Asian ladybird，*Harmonia axyridis* (Pallas). *Acta Ecol. Sin.*，22(12)：2 278 – 2 284. [**王小艺，沈佐锐**，2002. **亚致死剂量杀虫剂对异色瓢虫捕食作用的影响**. **生态学报**，22(12)：2 278 – 2 284]

（责任编辑：黄玲巧）